

TIÊU CHUẨN NĂNG LƯỢNG TRONG CƠ HỌC PHÁ HỦY ĐÀN ĐÉO TỔNG QUÁT

BÙI HỮU DÂN

1. MỞ ĐẦU

Vấn đề trung tâm và cơ bản của cơ học phá hủy là cơ học vết nứt. Trong trường hợp đàn hồi (phá hủy giòn) vấn đề phát triển vết nứt đã có các tiêu chuẩn thống nhất và tin cậy, các tiêu chuẩn này thể hiện qua các hệ số tập trung ứng suất K_I , K_{II} , K_{III} cho ba dạng cơ bản của quá trình mở rộng vết nứt và dựa trên giả thuyết cơ bản của Griffith [1, 2, 3].

Đối với dạng phá hủy tổng quát hơn (đàn - dẻo, đàn nhớt, ..., xảy ra phổ biến trong thực tế, đặc biệt trong vật liệu kim loại) việc xây dựng các tiêu chuẩn tương tự như thế là vấn đề rất cần thiết và đang được nghiên cứu như một vấn đề mũi nhọn [4, 5, 6, 7].

Trong bài này chúng ta viết phương trình bảo toàn năng lượng cho quá trình vết nứt phát triển đàn dẻo tổng quát, xác định ý nghĩa vật lý của các thành phần và dựa vào các kết quả mới của mô hình dẻo trượt đa tinh thể kiến nghị các phương pháp số nghiên cứu định lượng chúng riêng biệt cũng như trong tổng thể tiêu chuẩn năng lượng trong cơ chế phá hủy (mở rộng vết nứt) đàn dẻo.

2. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN NĂNG LƯỢNG TRONG VẬT THỂ CÓ VẾT NỨT PHÁT TRIỂN ĐÀN ĐÉO

Ta xét phần vật liệu đàn dẻo V chứa vết nứt đang phát triển. Phương trình bảo toàn năng lượng đối với thể tích vật liệu V sẽ là [1]:

$$dE + dU = dA + dQ + dQ^* \quad (2.1)$$

trong đó : dE , dU là vi phân của động năng và nội năng,

dA - dòng cơ năng từ ngoài vào,

dQ - dòng nhiệt năng từ ngoài vào,

dQ^* - dòng năng lượng sinh ra do cơ chế cấu trúc vi mô thay đổi khi vết nứt phát triển.

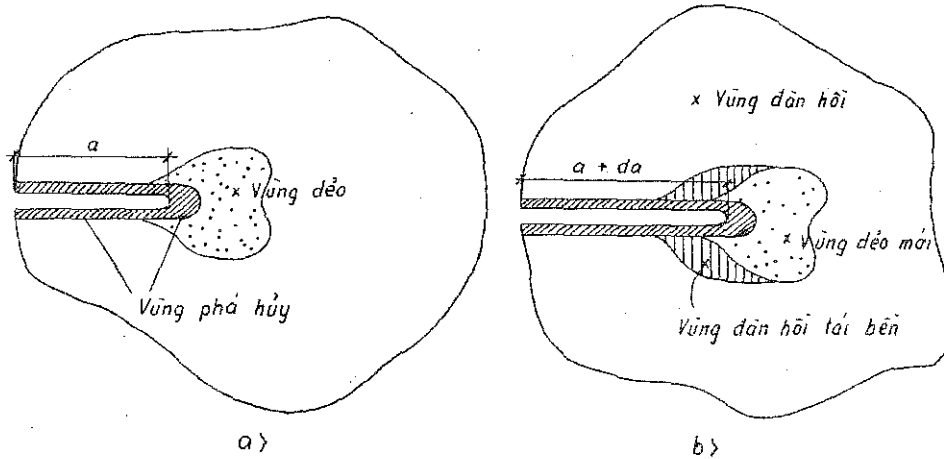
Từ thực nghiệm và qua phân tích [6] ta thấy rằng, trong quá trình phát triển của vết nứt, bên trong vật liệu đàn - dẻo sẽ xuất hiện các vùng vật liệu có các trạng thái và đặc trưng cơ học khác nhau (hình 1).

Vùng mép và đầu vết nứt là vùng phá hủy. Ở vùng phá hủy nói chung vật liệu mất tính liên tục (nhiều liên kết vi mô, liên kết tinh thể bị phá vỡ) khả năng làm việc cơ học giảm hẳn, vật liệu có đặc tính cơ học hoàn toàn mới.

Vùng bao ngoài của vùng phá hủy ở đầu vết nứt là vùng dẻo. Ở đây vật liệu đối xử dẻo, đặc tính cơ học vốn có của nó.

Vùng bao ngoài vùng phá hủy là vùng đàn hồi. Tại đây vật liệu đối xử đàn hồi.

Khi vết nứt phát triển, đỉnh vết nứt di chuyển và do vậy vùng phá hủy mở rộng theo (vật liệu đã phá hủy không có khả năng hồi phục). Vùng dẻo sẽ di chuyển theo đầu vết nứt, lan rộng dần theo hướng phát triển của vết nứt và thu hẹp dần ở phía ngược lại (vật liệu chuyển từ đối xử dẻo trở lại đối xử đàn hồi - nhưng đã qua hiệu ứng tái bền, nếu có)



Hình 1. Các vùng xuất hiện khi vết nứt phát triển.

- a) Trước khi vết nứt phát triển.
- b) Sau khi vết nứt phát triển.

Ta trở lại xét phương trình (2.1) cho trường hợp mở rộng vết nứt đàn - dẻo. Để tập trung xét một vài đại lượng đặc thù cho quá trình phá hủy đàn - dẻo, ta giả thiết không có dòng nhiệt ngoài ($dQ = 0$), quá trình xảy ra chậm ($dE = 0$).

Thể tích vật liệu V có biên $\partial V = \partial V_T \cup \partial V_U$ chịu tác dụng của lực mặt T^d trên ∂V_T và chuyển vị mặt u^d trên ∂V_U và lực khối với mật độ F trên toàn V . Ta có

$$dA = \int_{\partial V_T} T_i^d \delta u_i ds + \int_{\partial V_U} \delta T_i \cdot u_i^d ds + \int_V \delta(F_i u_i) dv. \quad (2.2)$$

Gia số nội năng toàn phần dU gồm hai phần:

$$dU = dW^e + dW^p \quad (2.3)$$

với W^e là năng lượng biến dạng đàn hồi toàn phần của V

W^p là năng lượng biến dạng dẻo.

Để tính dW^e và dW^p ta phải có lời giải bài toán biên đàn - dẻo với quy luật tải phức tạp. Trong [9] tác giả đã trình bày thuật toán giải bài toán này dựa trên mô hình dẻo trượt đa tinh thể kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn. Trong thuật toán này ngoài hai hằng số đàn hồi E, ν cần sử dụng thêm ba hằng số vật liệu nữa: 1) Giá trị tới hạn của ứng suất tiếp quyết định (the critical value of the resolved shear stress) của các hệ trượt trong cấu trúc tinh thể của vật liệu $\tau_0^* = \tau_0$; 2) Hệ số tái bền K và hệ số đặc trưng cho hiệu ứng Bauschinger K_B theo luật tái bền tuyến tính Taylor [9, 11]. Cả ba hằng số vật liệu này được tính từ các kết quả thực nghiệm [9, 11].

3. MẶT PHÁ HỦY VÀ NĂNG LƯỢNG PHÁ HỦY

Vấn đề cơ bản còn lại là xét đại lượng dQ^* trong phương trình (2.1). dQ^* là phần năng lượng tiêu phí cho vùng phá hủy trong quá trình vết nứt phát triển. Trong phá hủy đàn, không có miền phá hủy nên giả thuyết của Griffith về tính tỷ lệ giữa năng lượng này và diện tích mặt mới sinh ra của vết nứt [1] là đủ:

$$dQ^* = \gamma \cdot d\Sigma. \quad (3.1)$$

Trong trường hợp phá hủy đàn dẻo, vấn đề sẽ phức tạp hơn, năng lượng đó gồm hai phần:

$$dQ^* = dQ_0^* + dQ_1^* \quad (3.2)$$

với dQ_0^* là phần năng lượng tiêu phí trực tiếp sinh mặt mới của vết nứt và được tính tương tự (3.1) [1]:

$$dQ_0^* = \gamma^* \cdot d\Sigma \quad (3.3)$$

nhưng dQ_1^* là năng lượng tiêu phí phá vỡ nhiều liên kết vi mô và liên kết tinh thể, biến từ vật liệu đàn - dẻo thành vật liệu phá hủy, mất tính liên tục.

Theo định luật Schmidt và điều kiện hoạt động của hệ trượt trong cấu trúc tinh thể, giá trị tới hạn của ứng suất trượt quyết định của hệ trượt ν là τ^ν được dùng như một tham số vật lý duy nhất. Do giá trị τ^ν thay đổi trong quá trình hoạt động nên sinh ra hai hiệu ứng vi mô: hiệu ứng tái bền (hardening effect) và hiệu ứng Bauschinger [9]. Từ bản chất hoạt động của hệ trượt rõ ràng phải tồn tại một giới hạn trên τ_*^ν của giá trị tới hạn của ứng suất trượt quyết định. Vượt quá giá trị này hệ trượt trong ứng sẽ "bị hỏng" và liên kết vi mô tinh thể tương ứng với hệ trượt đã bị phá hủy. Theo quan điểm vi mô (theo lý thuyết dẻo truyền thống) có nghĩa là trong quá trình biến dạng dẻo ở không gian ứng suất tồn tại một mặt dẻo (tồn tại tại τ^ν), quá trình biến dạng làm thay đổi mặt dẻo (khi τ^ν thay đổi) sẽ có giới hạn bởi "mặt phá hủy" (khi tồn tại tại τ_*^ν). Từ các kết quả thực nghiệm [15] (ngay cả thí nghiệm cổ điển quen biết) ta có thể giả thiết: mặt phá hủy là không đổi trong không gian ứng suất trong quá trình biến đổi trạng thái cơ học. Điều này tương ứng với tính không thay đổi của giá trị τ_*^ν trong quá trình biến dạng trượt [14].

Với giả thiết này, sử dụng các phương trình và thuật toán của mô hình dẻo trượt đa tinh thể, ta có thể xác định được vùng phá hủy trong bài toán mở rộng vết nứt của vật liệu đàn dẻo. Điều này có nghĩa là xác định được năng lượng tổn hao trong miền phá hủy:

$$dQ_1^* = dR_f = D_f \cdot dv_f \quad (3.4)$$

ở đây D_f là năng lượng trung bình tổn hao để chuyển một đơn vị thể tích vật liệu đàn dẻo từ trạng thái dẻo sang trạng thái phá hủy, dv_f là vi phân thể tích của vật liệu chuyển trạng thái đó. Hàm D_f nói chung, không chỉ phụ thuộc bản chất vật liệu (giá trị của τ_*^ν , mật độ các hệ trượt) mà còn phụ thuộc dạng hình học của vết nứt, vật thể và trạng thái tải (quyết định "mức độ phá hủy" của vật liệu).

Trở lại phương trình (2.1), nếu sử dụng (2.2) \rightarrow (3.4) ta có

$$dW^e + dW^p = \int_{\partial V_T} T_i^d \delta u_i ds + \int_{\partial V_\nu} \delta T_i \cdot u_i^d ds + \int_V \delta (F_i \cdot u_i) dv + \gamma^* d\Sigma + D_f \cdot dv_f \quad (3.5)$$

Tương tự như ở [6], nếu gọi:

$$G^* = \frac{\partial}{\partial a} \left(\int_{\partial V_T} T_i^d \cdot \delta u_i ds + \int_{\partial V_\nu} \delta T_i \cdot u_i^d ds + \int_V \delta (F_i \cdot u_i) dv - dW^e \right). \quad (3.6)$$

là lực tác dụng lên đỉnh vết nứt (the force acting on the crack tip) và

$$D_f^* = \frac{\partial}{\partial a} (dW^p - \gamma^* d\Sigma - D_f \cdot dv_f) \quad (3.7)$$

là lực chống mở rộng vết nứt (the force resisting to growth of the crack) ta có thể phát biểu tiêu chuẩn phá hủy năng lượng trong trường hợp đàn dẻo tổng quát như sau:

Khi miền vật liệu tồn tại vết nứt chịu tải ngoài thì:

1) Lực tác dụng lên đỉnh vết nứt nhỏ hơn lực cản mở rộng vết nứt thì không xảy ra sự mở rộng:

$$G^* < D_f^* \Rightarrow a = \text{const}; \quad da = 0 \quad (3.8)$$

2) Lực tác dụng lên đỉnh vết nứt bằng lực cản mở rộng vết nứt thì xảy ra quá trình mở rộng ổn định vết nứt:

$$G^* = D_f^* \Rightarrow da = \text{const} \neq 0 \quad (3.9)$$

3) Nếu lực tác dụng lên đỉnh vết nứt lớn hơn lực cản mở rộng vết nứt (do tải ngoài tăng) thì vết nứt sẽ phát triển mất ổn định

$$G^* > D_f^* \Rightarrow da \neq \text{const}, \quad d^2a \neq 0. \quad (3.10)$$

Rõ ràng tiêu chuẩn trên trong trường hợp đàn hồi (phá hủy giòn) trở về giả thuyết của Griffith

4. KẾT LUẬN

Ở đây tiêu chuẩn phá hủy đàn dẻo tổng quát (tiêu chuẩn mở rộng vết nứt) đã được xét xuất phát từ phương trình bảo toàn năng lượng. Bản chất vật lý của quá trình đó được lý giải và xét dựa vào mô hình dẻo trượt đa tinh thể; các phương pháp tính các đại lượng đặc trưng của quá trình mới được nêu ra ở mức kiến nghị.

Các khái niệm mới: "Mặt phá hủy" "giá trị giới hạn phá hủy của hệ trượt τ_*^0 " cũng như tiêu chuẩn năng lượng cho trường hợp đàn - dẻo mở rộng vết nứt đã được định nghĩa và lý giải.

Công trình này được hoàn thành với sự tài trợ của Chương trình Nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực Khoa học tự nhiên

Địa chỉ:

Viện Cơ học Viện KHVN

Nhận ngày 26/12/1992

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Sedov L. I. Cơ học môi trường liên tục, tập 2 (bản tiếng Việt, nhà xuất bản Bộ ĐH & THCN 1977).
2. Knott J. F. Fundamentals of fracture mechanics. Moscow 1974.
3. Duong B. H. Mecanique de la rupture fragile. Paris - 1976 (Xêmina cơ học lý thuyết và ứng dụng)
4. Nguyen Quoc Son. Normal dissipativity and energy criteria in fracture. IUTAM symposium, 1978 - Evanston, USA.
5. Rice J. R., Mc Meeking R. M., Parks D. M. and Sorensen E. P. Recent finite element studies in plasticity and fracture mechanics. Brown university, August 1978.
6. Kratochvil J. Navrh výpočtu rostoucí trhliny v pružně - plastických materiálech metodou konečných elementů. Č. SVÚSS - 02018 - Praha - 1980.

7. Carlsson A. J. Progress in Non - linear fracture mechanics. Proc. 14th International congress IUTAM, Delft, 1976.
8. Bui H. D., Kratochvil J., Ohashi Y., Štra M., Tanako E., Tokuda M. Elasto - plastic finite element method based on slip model of polycrystal plasticity. ("Plasticity Today" Milan Italy - 1983).
9. Bui Huu Dan. The slip theory of plasticity and application. Praha 1983 (luận án).
10. Tokuda M., Yamada K. Inelastic constitutive equations of polycrystalline metals subjected to finite deformation, Part I, International of plasticity, Vol. 4, 1988.
11. Tokuda M., Ohno N., Kratochvil J. Unified constitutive equations for inelastic behaviours of polycrystalline metals based on a semi - micro approach.
12. Bui Huu Dan, Kratochvil J., Satra M. Mở rộng mô hình dẻo trượt đa tinh thể cho biến dạng phẳng tổng quát. Tạp chí Cơ học số 4, 1991.
13. Bùi Hữu Dân. Thuật toán của mô hình dẻo trượt đa tinh thể trong trường hợp tổng quát. Tạp chí Cơ học số 2, 1992.
14. Bùi Hữu Dân. Về mặt dẻo theo quan điểm mô hình dẻo trượt đa tinh thể. Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ V.
15. Ikegami K. J. Soc. Mat. Sci. 1875, 24 (261 & 263).

SUMMARY

ENERGETIC CRITERION IN GENERAL ELASTIC - PLASTIC FRACTURE MECHANICS

From the analyzing the equation of energy balance for cracked bodies during the crack growth, the energetic criterion is formulated for general elastic - plastic fracture mechanics.

The numerical procedure should be realized by using the slip model of polycrystalline plasticity and the experimental data:

ĐẠI HỘI ĐẠI BIỂU TOÀN QUỐC LẦN THỨ 3 HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM

Ngày 6 tháng 12 năm 1992 Hội Cơ học Việt Nam đã tổ chức thành công Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ 3. Sau khi kiểm điểm lại các hoạt động của Hội trong 5 năm qua (1987-1992), thảo luận và quyết định phương hướng công tác Hội trong 5 năm tới (1992-1997) Đại hội đã bầu Ban chấp hành Trung ương Hội nhiệm kỳ 3 (1992-1997) :

Lê Quý An, Đào Huy Bích (Phó chủ tịch), Nguyễn Đăng Bích, Phan Ngọc Châu, Nguyễn Hữu Chí, Ngô Huy Cận, Nguyễn Văn Đạo (Chủ tịch), Nguyễn Văn Điệp (Phó chủ tịch), Khổng Doãn Điền (Phó tổng thư ký), Bùi Anh Định, Phạm Huyền (Phó chủ tịch thứ nhất), Nghiêm Hữu Hanh, Nguyễn Văn Hường, Nguyễn Xuân Hùng (Phó chủ tịch), Phạm Hồng, Nguyễn Văn Hồi, Nguyễn Thế Hùng, Dương Ngọc Hải, Nguyễn Như Khải, Phạm Văn Lợi, Nguyễn Ân Niên, Nguyễn Văn Ngô, Nguyễn Đức Phan, Nguyễn Văn Phó, Nguyễn Thiện Phúc, Phan Kỳ Phùng, Đào Văn Phụ, Trần Sỹ Phiệt, Nguyễn Thị Ngọc Quyên, Đỗ Sanh (Tổng thư ký), Nguyễn Tài, Lê Kỳ Thanh, Nguyễn Trường Tiến, Trần Bá Tịnh, Nguyễn Hoa Thịnh (Phó chủ tịch), Nguyễn Thị Trung, Nguyễn Văn Vượng.